

**METHOD FOR PRODUCING FLAT SUPERCONDUCTOR****Publication number:** RU2207641**Publication date:** 2003-06-27**Inventor:** SHIKOV A K; VOROB EVA A E; AKIMOV I I; EMEL JANOV A P; DOKMAN O V**Applicant:** UT NEORGANICHESKIKH MATERIALOV; VARA; SII VSEROSSIJSKIJ NII; G NTS ROSSIJSKOJ FEDERAT**Classification:****- international:** **H01L39/24; H01L39/24;** (IPC1-7): H01B12/00; H01B13/00**- European:** H01L39/24J10**Application number:** RU20000121196 20000807**Priority number(s):** RU20000121196 20000807**Also published as:**

WO0213206 (A1)

WO0213206 (A1)

US2004014604 (A)

**Report a data error he****Abstract of RU2207641**

**FIELD:** electrical engineering; superconductors for electrical devices. **SUBSTANCE:** method for producing flat superconductors in the form of wide bands and sheets with different number of layers and cores in layer of high-temperature superconductor junctions includes following procedures: formation of hollow metal ampoule and its filling with powder of superconducting compound or half-finished product, reckoned finite space factor for single core being 20-75%; deformation of ampoule-and-powder assembly to thickness of 0.35-5 mm at extent of deformation within single pass being 1-20%; cutting of deformed ampoule-and-powder assembly into metered parts; formation of composite billet by placing desired quantity of metered components or metered components and reinforcing members in composite-billet shell in the form of hollow section of oval or rectangular cross-sectional area, reckoned finite space factor of multiple-core flat superconductor being 25-70%; deformation of composite billet to desired size at extent of deformation within single path being 1-18%; thermomechanical treatment including several heat treatment stages and deformations in-between at temperature and during time affording formation of superconducting phase of desired composition and structure in ceramic. Proposed method provides for increasing critical current of flat superconductor by 9.3 times due to enlarging surface area of ceramic-shell interface. **EFFECT:** enlarged functional capabilities due to enhancing width of short and long multiple-core bands. 23 cl

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



(19) RU<sup>(11)</sup> 2 207 641<sup>(13)</sup> C2  
(51) МПК<sup>7</sup> H 01 B 12/00, 13/00

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2000121196/09, 07.08.2000

(24) Дата начала действия патента: 07.08.2000

(43) Дата публикации заявки: 20.09.2002

(46) Дата публикации: 27.06.2003

(56) Ссылки: P. HALDAR, L.MOTOWIDLO. Processing high critical current density Bi-2223 wires and tapes. JOM, vol. 44, No.10, October 1992, p.54-58. WO 00/10178 A1, 24.02.2000. WO 96/00448 A1, 04.01.1996. US 4906609 A, 06.03.1990. WO 99/30332 A1, 17.06.1999. RU 2153724 C1, 27.07.2000. RU 2044716 C1, 27.09.1999.

(98) Адрес для переписки:  
123060, Москва, а/я 369, ГНЦ РФ ВНИИНМ, ОИС

(71) Заявитель:

Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов им. акад. А.А. Бочвара

(72) Изобретатель: Шиков А.К.,  
Воробьева А.Е., Акимов И.И., Емельянов А.П., Докман О.В.

(73) Патентообладатель:

Государственный научный центр Российской Федерации Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов им. акад. А.А. Бочвара

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛОСКОГО СВЕРХПРОВОДНИКА

(57)

Изобретение относится к электротехнике, в частности к способу получения сверхпроводников в виде композиционных широких лент и листов с различным числом слоев и жил в слое из высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) соединений, предназначенных для создания электротехнических изделий. Способ получения плоского сверхпроводника включает формирование полый металлической ампулы, заполнение ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчета конечного коэффициента заполнения моножила 20-75%, деформацию полученной ампульно-порошковой системы до толщины 0,35-5 мм со степенью деформации за проход 1-20%, резку деформированной ампульно-порошковой системы на мерные части, формирование сложной заготовки путем размещения в оболочке сложной заготовки в виде полого профиля

овалообразного или прямоугольного поперечного сечения требуемого количества мерных составных частей или мерных составных частей и армирующих элементов из расчета конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 25-70%, деформацию сложной заготовки до требуемых размеров со степенью деформации за проход 1-18% и термомеханическую обработку в несколько стадий термообработки с промежуточными деформациями между ними при температуре и в течение времени, обеспечивающих формирование в керамике сверхпроводящей фазы требуемого состава и структуры. Техническим результатом изобретения является увеличение критического тока плоского сверхпроводника в 9,3 раза за счет увеличения площади поверхности раздела керамика-оболочка, а также расширение сферы использования за счет увеличения ширины как коротких, так и длинномерных многожильных лент. 22 з.п.ф-лы.

RU 2 207 641 C2

RU 2 207 641 C2



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 207 641** <sup>(13)</sup> **C2**  
(51) Int. Cl.<sup>7</sup> **H 01 B 12/00, 13/00**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2000121196/09, 07.08.2000

(24) Effective date for property rights: 07.08.2000

(43) Application published: 20.09.2002

(46) Date of publication: 27.06.2003

(98) Mail address:  
123060, Moskva, a/ja 369, GNTs RF VNIINM, OIS

(71) Applicant:  
Gosudarstvennyj nauchnyj tsentr Rossijskoj  
Federatsii Vserossijskij  
nauchno-issledovatel'skij institut  
neorganicheskikh materialov im. akad. A.A.  
Bochvara

(72) Inventor: Shikov A.K.,  
Vorob'eva A.E., Akimov I.I., Emel'janov  
A.P., Dokman O.V.

(73) Proprietor:  
Gosudarstvennyj nauchnyj tsentr Rossijskoj  
Federatsii Vserossijskij  
nauchno-issledovatel'skij institut  
neorganicheskikh materialov im. akad. A.A.  
Bochvara

(54) **METHOD FOR PRODUCING FLAT SUPERCONDUCTOR**

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering;  
superconductors for electrical devices.  
SUBSTANCE: method for producing flat  
superconductors in the form of wide bands  
and sheets with different number of layers  
and cores in layer of high-temperature  
superconductor junctions includes following  
procedures: formation of hollow metal  
ampoule and its filling with powder of  
superconducting compound or half-finished  
product, reckoned finite space factor for  
single core being 20-75%; deformation of  
ampoule-and-powder assembly to thickness of  
0.35-5 mm at extent of deformation within  
single pass being 1-20%; cutting of deformed  
ampoule-and-powder assembly into metered  
parts; formation of composite billet by  
placing desired quantity of metered  
components or metered components and

reinforcing members in composite-billet  
shell in the form of hollow section of oval  
or rectangular cross-sectional area,  
reckoned finite space factor of  
multiple-core flat superconductor being  
25-70%; deformation of composite billet to  
desired size at extent of deformation within  
single path being 1-18%; thermomechanical  
treatment including several heat treatment  
stages and deformations in-between at  
temperature and during time affording  
formation of superconducting phase of  
desired composition and structure in  
ceramic. Proposed method provides for  
increasing critical current of flat  
superconductor by 9.3 times due to enlarging  
surface area of ceramic-shell interface.  
EFFECT: enlarged functional capabilities due  
to enhancing width of short and long  
multiple-core bands, 23 cl

RU 2 207 641 C2

RU 2 207 641 C2

Изобретение относится к области технической сверхпроводимости, в частности к способу получения сверхпроводников в виде композиционных широких лент и листов с различным числом слоев и жил в слое из высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) соединений, предназначенных для создания электротехнических изделий.

Известен способ получения одножильных (однослойных) сверхпроводников на основе высокотемпературных сверхпроводящих соединений, называемый "порошок в трубе", заключающийся в заполнении оболочки (трубы) керамическим порошком высокотемпературного сверхпроводящего соединения (например, висмутовой керамики), деформации полученной ампульно-порошковой системы до требуемого размера и термомеханической обработке, включающей термообработку в несколько стадий с промежуточными деформациями между стадиями термообработки, или термообработке. В процессе термомеханической обработки или термообработки в керамической сердцевине формируется сверхпроводящая фаза требуемой структуры и состава. На границе раздела керамика-оболочка таких сверхпроводников реализуются наиболее благоприятные условия для протекания больших токов [1]. Недостатком этого способа являются малые величины критического тока сверхпроводников. Для его увеличения необходимо увеличивать площадь границы раздела керамика-оболочка (площадь поверхности керамической сердцевинки, в данном случае - одной жилы или одного слоя). Из конструктивных соображений этого наиболее легко достигнуть увеличением ширины сверхпроводника. Однако это является сложной задачей как с точки зрения деформаций, преследующих цель сформировать провод требуемых типоразмеров без нарушения целостности оболочки и геометрии сердцевинки, так и с точки зрения термомеханической обработки, включающей несколько стадий термообработки с промежуточными деформациями между этими стадиями, или термообработки, преследующих цель сформировать в керамической сердцевине фазу требуемого состава и структуры.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является способ получения многожильных лент [2] - прототип, включающий формирование полой металлической ампулы круглого поперечного сечения (трубы), заполнение трубы порошком висмутовой керамики, волочение полученной ампульно-порошковой системы через волоку с калибрующим пояском круглого поперечного сечения до требуемого диаметра, резку проволоночной ампульно-порошковой системы на мерные части, формирование сложной заготовки путем размещения в металлической заготовке оболочки круглого поперечного сечения требуемого количества мерных составных частей, деформацию сложной заготовки сначала волочением - до требуемого диаметра, а затем - прокаткой до требуемых размеров сверхпроводника ленточной формы и термомеханическую обработку, включающую термообработку в две стадии с промежуточными прокатками между стадиями термообработки.

Недостатками способа-прототипа являются: малая ширина лент, составляющая, в основном, 3-6 миллиметров и не превышающая 10-15 миллиметров, что не может удовлетворить все возрастающие потребности в высокотемпературных сверхпроводящих соединениях различных типоразмеров, необходимых для создания электротехнических изделий, и малые критические токи, связанные с малой площадью границ раздела керамика-оболочка у узких лент по сравнению с широкими.

Технической задачей изобретения являются увеличение критического тока за счет увеличения площади поверхности раздела керамика-оболочка, а также расширение сфер использования за счет увеличения ширины как коротких, так и длинномерных многожильных лент.

Поставленная задача решается тем, что в способе-прототипе, включающем формирование полой металлической ампулы, заполнение ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката, деформацию полученной ампульно-порошковой системы до требуемого размера, резку деформированной ампульно-порошковой системы на мерные части, формирование сложной заготовки путем размещения в металлической оболочке требуемого количества мерных составных частей, деформацию сложной заготовки до требуемых размеров, термомеханическую обработку, полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката требуемого состава, например Y-123, из расчета конечного коэффициента заполнения моножилы 20-75%, деформируют ампульно-порошковую систему до толщины 0,35-5 мм со степенью деформации за проход 1-20%, оболочку сложной заготовки изготавливают в виде полого профиля овалообразного поперечного сечения или прямоугольного поперечного сечения и помещают в нее необходимое количество мерных частей деформированной ампульно-порошковой системы или необходимое количество мерных частей деформированной ампульно-порошковой системы и армирующих элементов требуемого вида с требуемым расположением друг относительно друга из расчета конечного коэффициента заполнения многожильного сверхпроводника 25-70%, деформируют сложную заготовку до требуемых размеров со степенью деформации за проход 1-18%, термомеханическую обработку, включающую несколько стадий термообработки с промежуточными деформациями между ними, проводят при температуре и в течение времени, обеспечивающих формирование в керамике сверхпроводящей фазы требуемого состава и структуры.

При этом ампульно-порошковую систему деформируют продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-13%.

Металлическую оболочку овалообразного поперечного сечения получают осадкой под размер заготовки круглого поперечного сечения. Деформацию сложной заготовки до

требуемого размера проводят продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-10%. При этом при заполнении ампулы порошком, например, иттриевой керамики состава Y-123 термомеханическую обработку проводят при температуре 920-960 °C в течение 250-300 часов, обеспечивающих формирование в керамической сердцевине сверхпроводящей фазы требуемого состава и структуры.

Кроме того, промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят со степенью деформации за проход 1-20% продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 3-15%.

Также полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики состава Bi-2212 из расчета конечного коэффициента заполнения моножила 20-60%, деформируют ампульно-порошковую систему до толщины 0,45-5 мм со степенью деформации за проход 1-15%, формирование сложной заготовки проводят из расчета конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 25-55%, деформируют сложную заготовку до требуемых размеров со степенью деформации за проход 1-12%, термомеханическую обработку проводят при температуре 840-900°C в течение общего времени 50-150 часов с промежуточными деформациями со степенью деформации за проход 1-15%. При этом ампульно-порошковую систему деформируют продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-14%, деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-11%, промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят: продольно-поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-11%.

Также полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики состава Bi-2223 из расчета конечного коэффициента заполнения моножила 25-75%, деформируют ампульно-порошковую систему до толщины 0,35-4 мм со степенью деформации за проход 2-20%, формирование сложной заготовки проводят из расчета конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 30-70%, деформируют сложную заготовку до требуемых размеров со степенью деформации за проход 2-18%, термомеханическую обработку проводят при температуре 800-850°C в течение общего времени 150-350 часов с промежуточными

деформациями за проход 2-20%. При этом ампульно-порошковую систему деформируют продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-18%, деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят: продольно-поперечной прокаткой или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-16%, промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 4-15%.

В результате перечисленных операций получают широкие (от 15 мм до 1 м (до 1,5 м при использовании армирующих элементов)) ленты требуемой длины (от десятков сантиметров до сотен метров), из которых можно вырезать пластины требуемой формы и размеров. Такие ленты (пластины) по сравнению с узкими имеют большую площадь границы раздела керамика-оболочка и, следовательно, несут большие токи. Увеличение критического тока также связано с исключением из процесса получения широких лент операций волочения через волоку с калибрующим пояском круглого поперечного сечения. Волочение через волоку с калибрующим пояском круглого поперечного сечения приводит к нарушению геометрии ленты и получению дефектов в керамической сердцевине, что негативно сказывается на величине критического тока.

Из таких пластин можно изготавливать пакеты пластин, например, путем наложения пластин требуемой формы и размеров друг на друга с последующей диффузионной сваркой пластин между собой.

Заполнение ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчета конечного коэффициента заполнения моножила 20-75% обеспечивает требуемое соотношение материалов керамики и оболочки в моножиле и возможность проведения с ампульно-порошковой системой технологических операций (например, деформаций, отжига), необходимых для изготовления ленты. Деформация этой ампульно-порошковой системы до толщины 0,35-5 мм волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-13%, продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-20%, обеспечивает получение деформированной ампульно-порошковой системы требуемых форморазмеров, мерные части которой используются для составления сложной заготовки.

Изготовление оболочки сложной заготовки прямоугольного поперечного сечения или овалообразного поперечного сечения обеспечивает получение сложной заготовки требуемого поперечного сечения. Формирование заготовки оболочки осадкой под размер заготовки круглого поперечного сечения обеспечивает получение сложной заготовки овалообразного поперечного

сечения. Сложная заготовка овалообразного поперечного сечения или прямоугольного поперечного сечения получается после размещения в металлической заготовке оболочки требуемого количества мерных частей деформированной ампульно-порошковой системы или требуемого количества мерных частей деформированной ампульно-порошковой системы и армирующих элементов из расчета конечного коэффициента заполнения многожильного изделия 25-70%. Такую сложную заготовку деформируют, минуя процесс волочения через волоку с калибрующим пояском круглого поперечного сечения.

Деформация сложной заготовки продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-18%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-10% до требуемого размера (например, 0,35-0,45 мм) обеспечивает требуемую геометрию ленты и необходимое состояние керамической сердцевины (в основном, по плотности). При этом волочение в роликовой волоке (по сравнению с волочением через волоку с калибрующим пояском круглого поперечного сечения) резко уменьшает силу трения и, следовательно, улучшает качество геометрии многожильной сложной заготовки и многожильной ленты: за счет более равномерного распределения напряжений деформирования по сечению. Деформация продольно-поперечной прокаткой, представляющей собой попеременное чередование продольных и поперечных прокаток в заданной последовательности, обеспечивает требуемые характеристики (например, длину, ширину, толщину) на коротких лентах (длина определяется геометрией используемых валков), деформация поперечной прокаткой обеспечивает требуемые характеристики на коротких лентах (длина ленты определяется геометрией используемых валков), деформации продольной прокаткой и волочением в роликовой волоке обеспечивают требуемые характеристики как на коротких, так и на длинных лентах.

Термомеханическая обработка, включающая несколько стадий термообработки с промежуточными деформациями между ними со степенью деформации за проход 1-20%, обеспечивает формирование в керамической сердцевине фазы требуемого состава и структуры. При этом промежуточные деформации продольной прокаткой со степенью деформации за проход 1-20% и волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 3-15% обеспечивают требуемые характеристики на лентах различной длины, а промежуточные деформации поперечной прокаткой и продольно-поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1-20% обеспечивают требуемые характеристики на коротких лентах (длина ленты определяется геометрией используемых валков).

При заполнении ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчета конечного коэффициента заполнения моножила менее 20% происходит "разрыв" керамической

сердцевины, то есть при деформации происходит смыкание материала оболочки, расположенного с разных сторон сердцевины. При заполнении ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчета конечного коэффициента заполнения моножила более 75% не удается получить требуемую толщину керамики после деформации ампульно-порошковой системы.

При деформации полученной на предыдущем этапе ампульно-порошковой системы до толщины 0,35-5 миллиметров продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 1% происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется так называемая волнообразность по длине. При деформации ампульно-порошковой системы продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 20%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 13% происходит разрыв оболочки - от мелких трещин до ее полного разрушения, что приводит к обрыву провода.

При формировании сложной заготовки путем размещения в металлической заготовке оболочки прямоугольного поперечного сечения, или овалообразного поперечного сечения требуемого количества мерных частей деформированной ампульно-порошковой системы, или требуемого количества мерных частей деформированной ампульно-порошковой системы и армирующих элементов из расчета конечного коэффициента заполнения многожильного изделия (например, ленты) менее 25% не удается получить требуемого количества керамических жил, что приводит к большому расходу материала оболочки (например, серебра) и резкому уменьшению конструктивной плотности тока (току, отнесенному к сечению всего проводника, включая площадь керамики и оболочки), а увеличение коэффициента заполнения выше 70% приводит к смыканию керамических жил друг с другом в процессе деформации сложной заготовки, что нарушает геометрию провода и приводит к уменьшению плотности критического тока (току, отнесенному к площади поперечного сечения керамики).

При деформации сложной заготовки до требуемого размера (например, 0,38 мм) волочением в роликовой волоке, или продольно-поперечной, или поперечной прокаткой, или продольной прокаткой со степенью деформации за проход менее 1% происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется так называемая волнообразность по длине. При деформации сложной заготовки волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 10%, или продольно-поперечной, или поперечной прокаткой, или продольной прокаткой со степенью деформации за проход более 18% происходит разрыв оболочки - от мелких трещин до ее полного разрушения, что приводит к обрыву провода.

При проведении промежуточных

деформаций (на стадии термомеханической обработки) волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 3%, или продольно-поперечной прокаткой, или поперечной прокаткой, или продольной прокаткой со степенью деформации за проход менее 1% происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется так называемая волнообразность по длине. При проведении промежуточных деформаций волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 15%, или продольно-поперечной прокаткой, или поперечной прокаткой, или продольной прокаткой со степенью деформации за проход более 20% происходит разрыв оболочки от мелких трещин до ее полного разрушения, что приводит к обрыву провода.

Проведение термомеханической обработки, например, в случае заполнении полый металлической ампулы порошком или полуфабрикатом Y-123 при температуре ниже 920°C и выше 960°C в течение общего времени менее 250 часов и более 300 часов не позволяет сформировать в керамической сердцевине сверхпроводящую фазу требуемого состава и структуры.

При заполнении полый металлической ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката висмутовой керамики состава Bi-2212 из расчета конечного коэффициента заполнения моножилы менее 20% происходит разрыв керамической сердцевины при увеличении коэффициента заполнения моножилы более 60% не удается получить требуемую толщину керамики после деформации ампульно-порошковой системы. При деформации полученной ампульно-порошковой системы до толщины 0,45-5 мм продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 1%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 2% происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется так называемая волнообразность по длине. При деформации ампульно-порошковой системы продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 15%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 14% происходит разрыв оболочки. При формировании сложной заготовки из расчета конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника менее 25% не удается получить требуемого количества керамических жил, а увеличение коэффициента заполнения выше 55% приводит к смыканию жил друг с другом, что нарушает геометрию провода. При деформации сложной заготовки до требуемой толщины продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 1%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 2% происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется так называемая волнообразность по длине. При деформации сложной заготовки продольно-поперечной прокаткой, или

продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 12%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 11% происходит разрыв оболочки. Проведение термомеханической обработки при температуре ниже 840°C и выше 900°C в течение общего времени менее 50 часов и более 150 часов не позволяет сформировать в керамической сердцевине сверхпроводящую фазу требуемого состава и структуры. При проведении промежуточных деформаций на стадии термомеханической обработки продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 1%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 2% происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется так называемая волнообразность по длине. При проведении промежуточных деформаций продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 15%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 11% происходит разрыв оболочки.

При заполнении полый металлической ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката висмутовой керамики состава Bi-2223 из расчета конечного коэффициента заполнения моножилы менее 25% происходит разрыв керамической сердцевины, при увеличении коэффициента заполнения моножилы более 75% не удается получить требуемую толщину керамики после деформации ампульно-порошковой системы. При деформации полученной ампульно-порошковой системы до толщины 0,35-4 мм продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 2%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 2% происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется так называемая волнообразность по длине. При деформации ампульно-порошковой системы продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 20%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 18% происходит разрыв оболочки. При формировании сложной заготовки из расчета конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника менее 30% не удается получить требуемого количества керамических жил, а увеличение коэффициента заполнения выше 70% приводит к смыканию жил друг с другом, что нарушает геометрию провода. При деформации сложной заготовки до требуемой толщины продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 2%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 2% происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется так называемая волнообразность

по длине. При деформации сложной заготовки продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 18%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 16% происходит разрыв оболочки. Проведение термомеханической обработки при температуре ниже 800°C и выше 850°C в течение общего времени менее 150 часов и более 350 часов не позволяет сформировать в керамической сердцевине сверхпроводящую фазу требуемого состава и структуры. При проведении промежуточных деформаций на стадии термомеханической обработки продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход менее 2%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход менее 4% происходит нарушение геометрических размеров провода, появляется так называемая волнообразность по длине. При проведении промежуточных деформаций продольно-поперечной прокаткой, или продольной прокаткой, или поперечной прокаткой со степенью деформации за проход более 20%, или волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход более 15% происходит разрыв оболочки.

Проведение данных операций в описанной последовательности привело к появлению нового технического результата: увеличению критического тока изделия за счет увеличения площади поверхности раздела керамика-оболочка, а также расширению сфер использования за счет увеличения ширины как коротких, так и длинномерных многожильных лент.

Пример осуществления: металлические ампулы из Au, Ag и сплавов Ag + 1% вес. Mg, Ag + 1% вес. Ni (трубы длиной 50 мм, 1115 мм, 100 мм соответственно диаметром 12,8 мм с толщиной стенки 1,18 мм) заполняли порошком висмутовой керамики Bi-2223 из расчета конечного коэффициента заполнения моножилы 40%, металлические ампулы из серебра (трубы длиной 1115 мм, диаметром 12,8 мм с толщиной стенки 1,18 мм) заполняли порошком иттриевой керамики Y-123 и висмутовой керамики Bi-2212 из расчета конечного коэффициента заполнения моножилы 20% и, 60%, деформировали полученные ампульно-порошковые системы до толщины моножилы 1 мм волочением в роликовой волоке и продольно-поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 7% и разрезали на мерные части, а также деформировали полученные ампульно-порошковые системы до толщины (диаметра при получении моножилы поперечного сечения, близкого к круглому) 4 мм волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 7% и резали на мерные части.

Также металлические ампулы из Ag прямоугольного поперечного сечения (полый прямоугольный профиль длиной 2000 мм, шириной 700 мм, высотой 10 мм с толщиной стенки 1,2 мм и полый прямоугольный профиль длиной 2000 м, шириной 1050 мм, высотой 10 мм с толщиной стенки 1,2 мм) заполняли порошком висмутовой керамики состава Bi-2223 из расчета конечного

коэффициента заполнения моножилы 40%, деформировали полученные ампульно-порошковые системы до толщины моножилы 1 мм волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 7% и резали на мерные части.

Металлические заготовки оболочки овалообразного поперечного сечения из золота, серебра и сплава Ag + 1% вес. Mg получали осадкой под размер (до высоты 14 мм) металлической заготовки оболочки круглого поперечного сечения (трубы: диаметром 30 мм, длиной 50 мм, 237 мм, 100 мм соответственно с толщиной стенки 2,2 мм) и прутков из Ag диаметром 30 мм, длиной 50 мм с высверленными вдоль оси прутка отверстиями.

Далее формировали сложные заготовки путем размещения в металлических заготовках оболочек овалообразного поперечного сечения 42 мерных частей (длиной по 40 мм, 207 мм, 90 мм соответственно) разрезанных на части соответствующих моножил диаметром 1 мм, кроме того, заготовку оболочки из серебра заполняли моножилами (42 мерные части) в золоте. Помимо этого, заготовки оболочки из серебра заполняли моножилами (24 мерные части) в серебре и армирующими элементами (12 мерных армирующих элементов в виде перфорированных цилиндров) из сплава Ag с 1 вес.% Ni, моножилами (24 мерные части) в серебре и армирующими элементами (18 мерных армирующих элементов в виде прутков) из сплава Ag с 1 вес.% Cu, моножилами (24 мерные части) в серебре и армирующими элементами (18 мерных армирующих элементов в виде сеток) из никеля, моножилами (6 мерных частей) в Ag и армирующими элементами (24 армирующих элемента в виде прутков из сплава Ag+1 вес.% Cu), моножилами (10 мерных частей) в Ag армирующими элементами (9 армирующих элементов в виде пластин) из сплава Ag+1 вес.% Cu, моножилами (10 мерных частей) в Ag и армирующими элементами (9 армирующих элементов в виде сеток) из сплава Ag+1 вес.% Cu, моножилами (24 мерные части) в Ag и армирующими элементами (12 армирующих элемента в виде перфорированных прямоугольных профилей) из сплава Ag + 1 вес.% Ni. Армирующие элементы получали из соответствующих по составу слитков Ag с Ni, слитков Ag с Cu прессованием прутков с их последующим волочением (в случае получения армирующих элементов в виде прутков) и плоской прокаткой (в случае получения армирующих элементов в виде пластин) с последующей перфорацией пластин штамповкой по всей площади. Также армирующие элементы получали из никелевой сетки. Кроме этого, сложные заготовки формировали путем размещения в Ag заготовках оболочек в виде прутка овалообразного поперечного сечения с высверленными вдоль оси прутка отверстиями диаметром 4,2 мм и 1,1 мм двадцати четырех и шести мерных частей (длиной 50 мм), разрезанных на части соответствующих моножил диаметром 4 мм и восемнадцати и двадцати четырех армирующих элементов диаметром 1 мм соответственно.

Также сложные заготовки формировали путем размещения в металлических



заготовках оболочек прямоугольного поперечного сечения из Ag (полый прямоугольный профиль длиной 1200 мм, шириной 800 мм, высотой 25 мм с толщиной стенки 2,5 мм и полый прямоугольный профиль длиной 1200 мм, шириной 1200 мм, высотой 25 мм с толщиной стенки 2,5 мм) 19 мерных частей разрезанных на части соответствующих моножил, полученных из ампул прямоугольного поперечного сечения из Ag, толщиной 1 мм и 10 мерных частей разрезанных на части соответствующих моножил, полученных из ампул прямоугольного поперечного сечения из Ag, и 9 мерных частей армирующих элементов в виде плоских пластин толщиной 1 мм из сплава Ag с 1 вес.% Cu, а также 10 мерных частей разрезанных на части соответствующих моножил, полученных из ампул прямоугольного поперечного сечения из Ag и 9 мерных частей армирующих элементов в виде сетки из сплава Ag с 1 вес.% Cu.

Далее сложные заготовки в случае использования висмутовой керамики Bi-2223 деформировали до толщины 0,38 мм продольно-поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 2 и 18% и волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2 и 16%. Затем полученные ленты подвергали термомеханической обработке, включающей три стадии термообработки при температуре 800°C, 840°C, 850°C в течение общего времени 250 и 300 часов с промежуточными деформациями между стадиями термообработки. Промежуточные деформации проводили продольной прокаткой со степенью деформации за проход 2 и 20% и поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 2 и 20%. Ширина полученных лент составила 75 мм, 1000 мм и 1500 мм (с использованием армирующих элементов), что в 25-333 раза (в 100-500 раз с использованием армирующих элементов) выше, чем в способе-прототипе.

Другие сложные заготовки в случае использования иттриевой керамики Y-123 и висмутовой керамики Bi-2212 деформировали до толщины 0,4 мм продольно-поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 7% и волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 7%. Затем полученные ленты в случае иттриевой керамики подвергали термомеханической обработке, включающей две стадии термообработки при температуре 920°C, 960 °C, в течение общего времени 250 и 300 часов с промежуточными деформациями между стадиями термообработки. Промежуточные деформации проводили продольной прокаткой со степенью деформации за проход 1 и 20% и поперечной прокаткой со степенью деформации за проход 1 и 20%. Ширина полученных лент составила 75 мм, что в 25 раз выше, чем в способе-прототипе. В случае использования висмутовой керамики состава Bi-2212 термообработку проводили при температуре 840 и 900°C в течение 50 и 150 часов. Промежуточные деформации проводили продольной прокаткой со степенью деформации за проход 1 и 15% и волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2 и 11%. Ширина полученных лент составила 75 мм, что в 25 раз выше, чем в

способе-прототипе. Критический ток в изделиях измеряли стандартным четырехточечным методом. На всех полученных лентах величина критического тока составила не менее 560 А. В способе-прототипе при используемых в настоящее время ширине образца 3 мм, толщине образца 0,25 мм и коэффициенте заполнения 20%, при указанных в работе [2] плотностях критического тока величина критического тока (величина критического тока = значение плотности критического тока x площадь поперечного сечения керамики) не поднимается выше 60 А, что в 9,3 раз меньше, чем в предлагаемом способе.

Источники информации

1. Z.Yi, C.Beduz, M.Al-Mosawi, R.Riddle. Transverse distribution of the transport current density in (Bi, Pb) 2223 tapes. Physica C 277 (1997), p. 233-237.

2. P.Haldar, L.Motowidlo. Processing high critical current density Bi-2223 wires and tapes. JOM, vol.44, No.10, October 1992, p.54-58 - прототип.

### Формула изобретения:

1. Способ получения плоского сверхпроводника, включающий формирование полой металлической ампулы, заполнение ампулы порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката, деформацию полученной ампульно-порошковой системы до требуемого размера, резку деформированной ампульно-порошковой системы на мерные части, формирование сложной заготовки путем размещения в оболочке требуемого количества мерных составных частей, деформацию сложной заготовки до требуемых размеров, термомеханическую обработку, отличающийся тем, что полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабриката из расчета конечного коэффициента заполнения моножила 20-75%, деформируют ампульно-порошковую систему до толщины 0,35-5 мм со степенью деформации за проход 1-20%, при этом оболочку сложной заготовки изготавливают в виде полого профиля овалообразного или прямоугольного поперечного сечения, в который помещают необходимое количество мерных частей деформированной ампульно-порошковой системы или необходимое количество мерных частей деформированной ампульно-порошковой системы и армирующих элементов из расчета конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 25-70%, деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 1-18%, а термомеханическую обработку проводят в несколько стадий термообработок с промежуточными деформациями между ними, при температуре и в течение времени, обеспечивающих формирование в керамике сверхпроводящей фазы требуемого состава и структуры.

2. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, отличающийся тем, что ампульно-порошковую систему деформируют продольно-поперечной прокаткой.

3. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, отличающийся тем,

что ампульно-порошковую систему деформируют волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-13%.

4. Способ получения плоского сверхпроводника по п.1, отличающийся тем, что ампульно-порошковую систему деформируют продольной прокаткой.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что ампульно-порошковую систему деформируют поперечной прокаткой.

6. Способ по любому из пп.1-5, отличающийся тем, что металлическую оболочку сложной заготовки овалособразного поперечного сечения получают осадкой под размер заготовки круглого поперечного сечения.

7. Способ по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят продольно-поперечной прокаткой.

8. Способ по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 1-10%.

9. Способ по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят продольной прокаткой.

10. Способ по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят поперечной прокаткой.

11. Способ по любому из пп.1-10, отличающийся тем, что промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят со степенью деформации за проход 1-20%.

12. Способ по любому из пп.1-11, отличающийся тем, что промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят продольно-поперечной прокаткой.

13. Способ по любому из пп.1-11, отличающийся тем, что промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 3-15%.

14. Способ по любому из пп.1-11, отличающийся тем, что промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят продольной прокаткой.

15. Способ по любому из пп.1-11, отличающийся тем, что промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят поперечной прокаткой.

16. Способ по п.1, отличающийся тем, что полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики состава Bi-2212 из расчета конечного заполнения моножилы 20-60%, ампульно-порошковую систему деформируют до толщины 0,45-5 мм со степенью деформации за проход 1-15%, формирование

сложной заготовки проводят из расчета конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 25-55%, деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 1-12%, термомеханическую обработку проводят при 840-900°C в течение 50-150 ч с промежуточными деформациями за проход 1-15%.

17. Способ получения плоского сверхпроводника по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что ампульно-порошковую систему деформируют волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-14%.

18. Способ получения плоского сверхпроводника по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-11%.

19. Способ получения плоского сверхпроводника по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-11%.

20. Способ по п.1, отличающийся тем, что полую металлическую ампулу заполняют порошком сверхпроводящего соединения или полуфабрикатом висмутовой керамики Bi-2223 из расчета конечного коэффициента заполнения моножилы 27-75%, ампульно-порошковую систему деформируют до толщины 0,35-4 мм со степенью деформации за проход 2-20%, формирование сложной заготовки проводят из расчета конечного коэффициента заполнения многожильного плоского сверхпроводника 30-70%, деформируют сложную заготовку до требуемого размера со степенью деформации за проход 2-18%, термомеханическую обработку проводят при 800-850°C в течение общего времени 150-350 ч с промежуточными деформациями со степенью деформации за проход 2-20%.

21. Способ получения плоского сверхпроводника по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что ампульно-порошковую систему деформируют волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-18%.

22. Способ получения плоского сверхпроводника по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что деформацию сложной заготовки до требуемого размера проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 2-16%.

23. Способ получения плоского сверхпроводника по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что промежуточные деформации при термомеханической обработке проводят волочением в роликовой волоке со степенью деформации за проход 4-15%.